

# 基于 ANSYS 的航空装备产品专用夹具设计分析

周云飞, 赛云秀, 郭思璇

西安工业大学

**摘要:** 为了减少涡轮后盖组件加工时因夹具不稳定而引起的加工误差, 根据后盖组件的结构特点和企业的工艺水平, 设计了一种在加工中心上对后盖组件进行精确定位和装夹的专用夹具。详细阐述了该夹具的结构特点, 并采用 ANSYS 对其进行静力学和模态分析。仿真结果表明该专用夹具的设计符合加工技术要求, 安全可靠, 达到了企业加工质量的要求。该研究方法的结果可为后续专用夹具的优化提供依据。

**关键词:** 专用夹具; 后盖组件; 静力学分析; 模态分析; ANSYS

**中图分类号:** TG801; TH122

**文献标志码:** A

## Design and Analysis of Special Fixture for Aviation Equipment Product Based on ANSYS

Zhou Yunfei, Sai Yunxiu, Guo Sixuan

**Abstract:** During the machining of the turbine rear cover assembly, to reduce the machining error caused by the instability of fixture, a special fixture is designed. According to the structure characteristics of the rear cover assembly and the technological level of the enterprise, it can precisely locate and clamp the back cover assembly in the machining center. The structure characteristics of the fixture are described in detail, and the static and modal analysis is carried out by ANSYS. The simulation results show that the design of special fixture meets the requirements of processing technology, safe and reliable, and achieves the requirement of processing quality of the enterprise. The research method and results can provide the basis for the optimization of the following special fixture.

**Keywords:** special fixture; rear cover assembly; static analysis; modal analysis; ANSYS

## 1 引言

专用夹具是机械加工工艺系统的一个重要组成部分, 是针对某工件的某道工序而专门设计的夹

具<sup>[1]</sup>, 主要用于工件定位, 限制工件移动和支撑工件, 以提高加工质量等方面发挥重要作用<sup>[2,3]</sup>。由于专用夹具结构严重依赖于工件的结构特征和企业的工艺水平<sup>[4]</sup>, 其设计是否合理直接影响零件的加工质量, 因此, 专用夹具的结构设计一直是企业努力解决的难点之一<sup>[5]</sup>。

涡轮是航空涡轮发动机的核心部件之一, 主要

基金项目: 国家自然科学基金(51374165)  
收稿日期: 2018年4月

- [6] 李学光, 王惠伟, 张树仁, 等. 基于正交试验法的切削参数优化研究[J]. 机床与液压, 2011, 39(8): 17-19.
- [7] Rusinek R, Wiercigroch M, Wahi P. Orthogonal cutting process modelling considering tool-workpiece frictional effect [J]. Procedia Cirp, 2015, 31: 429-434.
- [8] 孙玉晶, 孙杰, 李剑峰. 钛合金铣削加工刀具磨损有限元预测分析[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 193-201.
- [9] 杨辉军, 陈惠贤. 基于 Deform 的枫树型轮槽铣刀加工仿真研究[J]. 工具技术, 2014, 48(1): 28-31.
- [10] Ducobu F, Rivière-Lorphève E, Filippi E. Finite element modelling of 3D orthogonal cutting experimental tests with the Coupled Eulerian-Lagrangian (CEL) formulation [J]. Finite Elements in Analysis & Design, 2017, 134: 27-40.
- [11] 谢黎明, 程格, 靳岚. 基于正交试验的 Cr12MoV 切削温度

- 预测模型的研究[J]. 工具技术, 2016, 50(1): 30-33.
- [12] Attanasio A, Ceretti E, Rizzuti S, et al. 3D Finite element analysis of tool wear in machining [J]. CIRP Annals Manufacturing Technology, 2008, 57(1): 61-64.
- 第一作者: 李嘉伟, 硕士研究生, 上海应用技术大学机械工程学院, 201418 上海市  
First Author: Li Jiawei, Postgraduate, College of Mechanical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China
- 通信作者: 张东民, 博士, 教授, 上海应用技术大学机械工程学院, 201418 上海市  
Corresponding Author: Zhang Dongmin, Doctor, Professor, College of Mechanical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

功能是将燃气的内能转换为机械能并对外输出功率,以带动压气机(风扇)、螺旋桨、旋翼(尾桨)等<sup>[6]</sup>工作。在实际加工过程中,经常出现装夹夹具不稳定导致单个零件和组件出现加工质量问题,严重影响涡轮单元体的加工效率。因此,本文设计了一种针对加工质量问题突出的工件专用夹具,以实现对其的精确定位和装夹。针对某航空装备企业的实际需求,设计了一种后盖组件的专用夹具,并应用 ANSYS 对设计结构进行了分析和仿真实验。

## 2 专用夹具结构设计

如图 1 所示,后盖组件由前后安装边、空心双层内附板、前后接口套圈、内外罩壁、两种薄壁空心管等 5 种组件采取氩弧焊焊接而成。

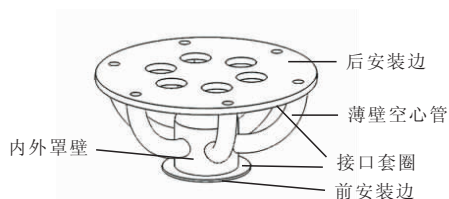


图 1 后盖组件

目前后盖组件的加工是在五坐标轴加工中心上进行加工,由于后盖组件具有刚性差和壁薄的特点,容易产生加工变形,因此对夹具稳定性要求较高。而现有加工采用组合夹具进行加工,因组合夹具没有止口,并且定位块对组件的定位有空隙,稳定性差,在加工时容易造成后盖组件产生变形,导致组件在自由状态下技术条件无法满足制造要求。为解决上述问题,本文提出了一种以定位环的定位装置配合夹紧装置的专用夹具设计方案,见图 2。

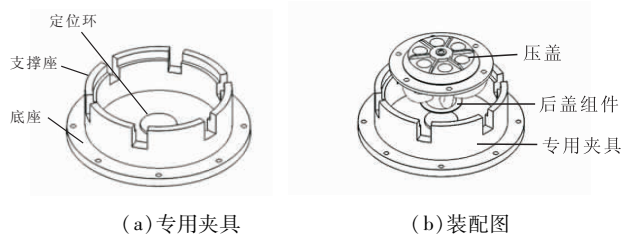


图 2 专用夹具结构设计

### (1) 定位装置

采用定位环装置进行设计,该夹具定位装置包括底座、定位环等原件(见图 3)。后盖组件以小端在定位环上定位,定位基准为轴向内孔中心线,后盖组件与夹具为间隙配合,可以实现对后盖组件小端的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴向移动自由度,以及  $x$  和  $y$  轴向转动自由度的限制,满足后盖组件加工的定位要求。

### (2) 夹紧装置

专用夹具夹紧装置选择使用 M16 螺栓的螺旋夹紧结构(见图 4),包括 M16 六角螺母、M16 × 250 等长双头螺柱、压盖以及底座等。由于后盖组件在五坐标轴加工时采用的是不对称顺铣,后盖组件为加工过的光滑表面,且随着加工的进行,后盖组件的刚性逐渐减弱,应减少对其环形薄壁的径向压紧,故采用轴向压紧。

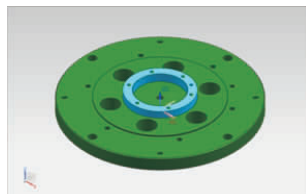


图 3 定位装置

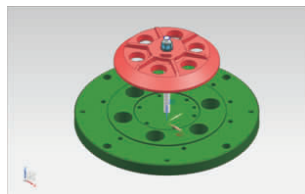
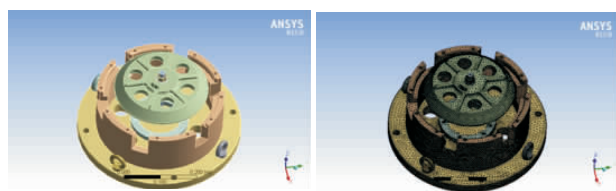


图 4 专用夹具夹紧装置

## 3 基于有限元模型的静力学和模态分析

### (1) 静力学分析

使用 UG 软件进行专用夹具建模,导入到 ANSYS 软件中。专用夹具材料主要为 45 钢,杨氏模量为  $2.0 \times 10^{11}$  Pa,泊松比为 0.3,密度为  $7850 \text{ kg/m}^3$ 。在 ANSYS 软件中建立有限元模型并对专用夹具进行网格划分。网格划分后共有 634846 个节点,401466 个单元格。专用夹具模型和网格划分模型见图 5。

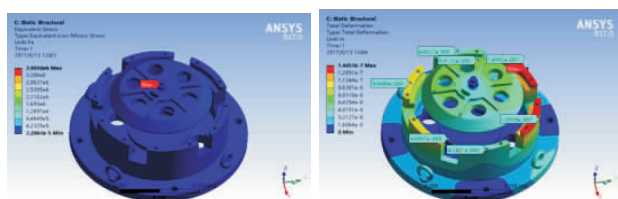


(a) 三维模型

(b) 网格划分模型

图 5 夹具模型

在五坐标轴加工中心对该夹具进行不对称顺铣。根据实际工况对夹具施加荷载进行静力学分析,图 6 为应力和位移云图。



(a) 应力云图

(b) 位移云图

图 6 专用夹具应力与变形云图

由图 6a 可知,在不对称顺铣条件下,专用夹具的夹紧结构中的螺栓是主要承受位移和应力的载

体,最大应力为 44.4MPa,应力最大处位于圆孔、尖角等位置,与易发生应力集中位置吻合。专用夹具采用 45 钢,其最大屈服应力为 345MPa,专用夹具装夹壁厚为 18-30mm,取安全系数 2.8,其最大许用应力为 124MPa,专用夹具所受最大应力小于其最大许用应力。

由图 6b 可知,专用夹具外边缘沿受力方向产生径向变形,最大变形量在夹具支撑座加工位置的对称处,最大变形量为  $1.45 \times 10^{-4}$  mm;最小位移在支撑座底部,相对最大位移可以忽略不计,专用夹具设计满足后盖组件的加工精度要求。

## (2) 模态分析

通过专用夹具的模态分析可以获得夹具在加工过程中的固有频率,避免专用夹具在五坐标轴加工中心上铣削后盖组件时的共振现象。由于工作装填下,压盖结构将对待加工工件夹紧,可以简化为与零件一体。考虑模具模型螺栓及细小结构对整体结构影响微弱,对专用夹具进行进一步简化。利用 ANSYS 分析计算专用夹具前 10 阶模态,选取其中最具有影响的前 4 阶模态进行分析,模态频率如表 1 所示。

表 1 模态频率

阶数	1	2	3	4
频率(Hz)	1208.3	1480.5	1507.8	1585.7

在 ANSYS 软件中提取专用夹具前 4 阶固有频率模态见图 7。

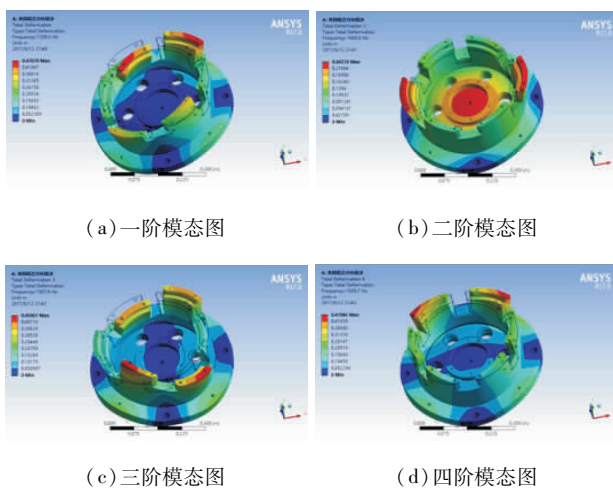


图 7 专用夹具前 4 阶振型图

从以上的前 4 阶振型图可以看出,主要振动位

移较大部位产生在支撑座处,影响夹具强度刚度。根据动力学知识,低阶固有频率相对准确,因此取专用夹具一阶固有频率  $f_1 = 1208.3$  Hz 为所求专用夹具固有频率。实际加工铣削振动频率远离专用夹具固有频率,因此不会发生明显共振现象,专用夹具设计安全可靠。

## 4 结语

本文根据航空装备后盖组件的加工技术要求,分析确定采用定位环的定位方式和螺旋夹紧结构,设计了一种后盖组件专用夹具。并在具体工况下对其进行静力学分析,得到实际工况下的应力及位移云图,从而在理论上提出了设计的参考结构模型。选取专用夹具前 4 阶模态,验证了该夹具结构设计合理,能够满足后盖组件的加工技术要求。

## 参考文献

- [1] 李吉,赖玉活,冯跃霞. 发动机气缸钻孔专用夹具设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2013(3):108-110.
- [2] 王启平. 机床夹具设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1996.
- [3] 肖继德,陈宁平. 机床夹具设计[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [4] 王琪,黄翔,廖文和. 专用机床夹具设计及其知识库系统的研究与应用[J]. 机械科学与技术,2003,22(2):299-301.
- [5] 唐东,成晔,蔡复之. 面向并行工程的计算机辅助夹具设计系统研究[J]. 计算机集成制造系统,1999(1):59-63.
- [6] 查理. 航空发动机技术[J]. 国防科技,2004(3):11-15.

第一作者:周云飞,博士研究生,西安工业大学机电工程学院,710021 西安市

First author: Zhou Yunfei, Doctoral Candidate, School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China

通信作者:赛云秀,博士,教授,西安工业大学机电工程学院,710021 西安市

Corresponding Author: Sai Yunxiu, Doctor, Professor, School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China